

ประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับต้นทุนต่ำในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
ในก๊าซชีวภาพด้วยระบบดูดซับแบบตรึงในคอลัมน์
EFFICIENCY OF LOW-COST ADSORBENT MATERIALS
FOR HYDROGEN SULFIDE REMOVAL FROM BIOGAS USING
A FIXED BED ADSORPTION COLUMN

พิมผกา โพธิ์ลังกา

Phimphaka Phothilangka

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งมีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในฟาร์มปศุสัตว์ วัสดุดูดซับที่นำมาทดสอบนี้ ได้แก่ เม็ดคอนกรีต ฝอยเหล็ก ไม้สับ และไดอะตอมไมท์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุแต่ละชนิดก่อนและหลังถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยการเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ เพื่อศึกษาการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ทดสอบโดยบรรจุวัสดุตัวกลางในระบบดูดซับแบบตรึงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านที่ความเร็วเฉลี่ย 15-20 ลิตรต่อนาที (900-1,200 ลิตร/ชั่วโมง) ผลการศึกษาพบว่า เม็ดคอนกรีตเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่บรรจุในคอลัมน์สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าระบบที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 2,551 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ได้ 99.18% โดยเฉลี่ย

คำสำคัญ: ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซชีวภาพ วัสดุดูดซับ น้ำเสียปศุสัตว์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

Faculty of Science, Lampang Rajabhat University, Mueang District, Lampang Province 52100

corresponding author e-mail: phimphaka@g.lpru.ac.th

Received: 25 February 2025; Revised: 28 April 2025; Accepted: 8 May 2025

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2025.5>

Abstract

This research aimed to test the efficiency of locally available, low-cost and efficient adsorbents suitable for removing hydrogen sulfide from biogas produced as an alternative energy source in livestock farms. The adsorbent materials tested were concrete pellets, steel wool, wood chips and diatomite. The efficiency of the adsorbent was compared with the adsorbent that has been improved by coating with ferric hydroxide to study the removal of hydrogen sulfide in biogas. The tests were performed by loading the adsorbent in a fixed bed adsorption column with a diameter of 10.16 cm and a length of 50 cm, allowing biogas to flow through by 15-20 liters per minute (900-1,200 liters/hour). The results showed that the ferric hydroxide-coated concrete pellets packed in the column can effectively remove hydrogen sulfide in biogas, with an average removal of 99.18% of hydrogen sulfide before entering the system at an average concentration of 2,551 ppm.

Keywords: hydrogen sulfide, biogas, absorbent, livestock wastewater

บทนำ

ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนที่ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตใช้เป็นพลังงานทดแทนอย่างกว้างขวางและยังเป็นพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในการผลิตใช้เป็นพลังงานในอนาคต ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะมีส่วนประกอบของก๊าซมีเทนประมาณ 50-60% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30-50% ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซอื่น ๆ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และแอมโมเนีย อีกเล็กน้อย นอกจากนี้ก็ยังมีไอน้ำผสมอยู่อีกประมาณ 1-5% (Awe et al., 2018) ก๊าซที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพก่อนใช้งาน จะทำให้เกิดการกัดกร่อนวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น หัวเตาระบบท่อ เครื่องยนต์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพของเกษตรกรได้ ก็จะทำให้เกษตรกรสามารถใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น

วิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพนั้นมีหลายวิธี แต่วิธีการที่มีกระบวนการไม่ซับซ้อนและใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์ชนิดตรึงในคอลัมน์ (fixed-bed หรือ packed-bed) ซึ่งสามารถปรับใช้กับระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็กได้ด้วย ระบบเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้อาศัยหลักการใช้ของแข็งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการดูดซับหรือตัวดูดซับสิ่งปนเปื้อนออกจากก๊าซหรือของเหลว ซึ่งสามารถปรับใช้สำหรับกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งการดูดซับทางกายภาพ (physisorption) และ

การดูดซับทางเคมี (chemisorption) วัสดุดูดซับที่มีการศึกษาวิจัยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้นำมากำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ถ่านหิน ถ่านชีวภาพ (biochar) ไม้สับ (wood chip) เปลือกไม้สน เปลือกหอย ชานอ้อย (Choleva et al., 2023; Promnuan et al., 2023; Izhar et al., 2022; Pudi et al., 2022; Marchelli et al., 2019) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวัสดุดูดซับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการปรับปรุงคุณภาพตัวดูดซับด้วยการเคลือบด้วยสารเคมี เช่น เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) (Regenspurg et al., 2020; Raabe et al., 2019) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง และเมื่อใช้งานจนประสิทธิภาพการดูดซับลดลงก็สามารถฟื้นฟูสภาพกลับมาใช้ใหม่ได้โดยใช้อากาศ (Schiavon et al., 2014) นอกจากนี้การใช้สารเคมีในกลุ่ม Fe_2O_3 ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) หรือ ZnO ในการดักจับ พบว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของเหล็กและซิงค์ออกไซด์ เปลี่ยนเป็นตะกอน FeS , หรือ ZnS ได้อย่างรวดเร็ว (Hosseini & Wahid, 2014) หรือการประยุกต์ใช้ตะกอนสนิมเหล็กจากระบบประปาหมู่บ้านมาเป็นเม็ดดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ก็สามารถกำจัดได้ถึง 94-99% (Mingchai, 2015; Tangtaweewipat et al., 2012) ตลอดจนการใช้กากตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำดื่มมาใช้เป็นวัสดุดูดซับเพื่อกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ ซึ่งวัสดุดูดซับจะมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Polruang et al., 2017) ซึ่งวัสดุดูดซับหลายอย่างยังคงหาได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูงในการดำเนินการ

อย่างไรก็ตามวัสดุที่ใช้ในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปัจจุบันมักเป็นวัสดุที่ถูกศึกษาเพื่อการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม แม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็ใช้วัสดุและเทคโนโลยีเฉพาะที่ซับซ้อนและมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง ทำให้เกษตรกรในชนบทซึ่งส่วนใหญ่ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็กไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ขณะเดียวกันในประเทศไทยก็มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุท้องถิ่นมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการดังกล่าวน้อยมาก ทำให้เกษตรกรในชนบทไม่นิยมกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งส่งผลต่อการใช้งานและการยกระดับการใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพของประเทศโดยรวม

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับในท้องถิ่นที่มีต้นทุนต่ำและมีศักยภาพในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถปรับใช้ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพขนาดกลาง-เล็กในท้องถิ่นได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นโดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Covered Anaerobic Lagoon Digester ขนาด 200 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขุนในจังหวัดลำปาง

1. การเตรียมวัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ ฝอยเหล็ก ไม้สับ เม็ดคอนกรีต และไดอะตอมไมท์ จากแหล่งจังหวัดลำปาง โดย ไม้สับและไดอะตอมไมท์ คัดเลือกขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร โดยร่อนผ่านตระแกรงขนาด 10.67 มิลลิเมตร นำไปตากให้แห้งก่อนนำไปใช้ ส่วนเม็ดคอนกรีต เตรียมโดยใช้คอนกรีตผสมทรายละเอียด (ขนาด 0.06 ถึง 0.2 มิลลิเมตร) และน้ำ ในอัตราส่วน 1:2:1 โดยปริมาตร จากนั้นเทลงในแบบพิมพ์ขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตร รอให้แห้งแล้วแกะออกจากแบบพิมพ์ สำหรับวัสดุดูดซับที่นำมาปรับปรุงคุณภาพ โดยการเคลือบด้วยเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) เตรียมโดยนำวัสดุแต่ละชนิดมาร้อนด้วยตระแกรง ขนาด 10.67 มิลลิเมตร (opening) เพื่อกำจัดเศษวัสดุขนาดเล็กที่ไม่ต้องการออกไป นำส่วนที่อยู่บนตระแกรงมาแช่ในสารละลายเฟอริกคลอไรด์ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปแช่ใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปตากแดดให้แห้ง วัสดุดูดซับที่ได้จะมีสีน้ำตาลแดงหรือสีสนิมเหล็ก วัสดุดูดซับที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงในภาพที่ 1 (Figure 1)



Figure 1 Adsorbent material (left) and design of fixed-bed adsorption column (right) used in the experiments.

2. การเตรียมคอลัมน์

คอลัมน์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นคอลัมน์ชนิดดูดซับแบบตรึงในคอลัมน์ (fixed bed adsorption column) ทำจากท่ออะคริลิกใสทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ปิดปลายท่อทั้งสองด้านด้วยแผ่นหน้าแปลนที่บออะคริลิก (flange) ขนาดเดียวกับ

คอลัมน์ โดยต่อท่อพีวีซีขนาด 1.9 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นทางรับก๊าซชีวภาพเข้าสู่ระบบและด้านตรงกันข้ามเป็นทางออกของก๊าซชีวภาพที่ผ่านการบำบัดแล้ว รายละเอียดแสดงในภาพที่ 1 (Figure 1)

3. การวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุ

วิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) รุ่น TESCAN Model VEGA 3, Czech Republic เพื่อดูโครงสร้างและธาตุองค์ประกอบก่อนและหลังการเคลือบด้วยสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

4. การทดสอบการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

บรรจุวัสดุดูดซับแต่ละชนิดในคอลัมน์ที่เตรียมไว้ในข้อ 2 แล้วนำไปต่อเข้ากับท่อส่งก๊าซชีวภาพของระบบหมักก๊าซชีวภาพ ให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านวัสดุดูดซับแต่ละชนิดในคอลัมน์ด้วยอัตราการไหลเฉลี่ยประมาณ 15-20 ลิตรต่อนาที (900-1,200 ลิตร/ชั่วโมง) วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพก่อนและหลังผ่านชุดทดลอง (fixed-bed adsorption column) ประกอบด้วย มีเทน (CH_4), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ออกซิเจน (O_2) ทำการวิเคราะห์หลังผ่านชุดทดลองจะวิเคราะห์ทุก ๆ 5 นาที โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ชนิดพกพา ยี่ห้อ Bio Genius Model IRCD4 210406 ตลอดการทดลอง และมีการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่อง GC ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890A เพื่อสอบเทียบผลการวิเคราะห์ของเครื่องวิเคราะห์ชนิดพกพา ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง treatment means ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังผ่านระบบปรับปรุงคุณภาพเปรียบเทียบกับก๊าซชีวภาพที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (Paoaiang et al., 2024)

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นผิวของวัสดุดูดซับที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเปรียบเทียบกับพื้นผิวของวัสดุดูดซับที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ซึ่งพบร่องรอยของการกัดกร่อน หรือการเกิดกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ขึ้นบนพื้นผิวอย่างชัดเจนหลังจากวัสดุดูดซับถูกเคลือบด้วยเฟอร์ริก ไฮดรอกไซด์ ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นถึงธาตุองค์ประกอบของวัสดุตัวกลางที่เปลี่ยนแปลงอันเป็นผลจากการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุตัวกลางด้วยการเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์

จากภาพที่ 2 (Figure 2) จะเห็นว่าเม็ดคอนกรีตก่อนเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ผิวค่อนข้างเรียบ ขณะที่ภาพที่ 3 (Figure 3) แสดงให้เห็นถึงธาตุองค์ประกอบ อันประกอบด้วยแคลเซียม 41.8% รองลงมา ได้แก่ ออกซิเจน 38.4% และคาร์บอน 9.3% หลังการเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์บนผิวของ

เม็ดคอนกรีตทำให้มีเหล็ก (Fe) เกาะบนผิวเม็ดคอนกรีตและทำให้ธาตุองค์ประกอบมีสัดส่วนเปลี่ยนไปจากเดิม โดยพบว่ามีเหล็กสูงถึง 38.1% แสดงให้เห็นว่าเฟอริกไฮดรอกไซด์สามารถเคลือบบนผิวคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพของเม็ดคอนกรีตที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพกับเม็ดคอนกรีตที่เคลือบเฟอริกไฮดรอกไซด์ จะเห็นว่าเหล็กที่เกาะที่ผิวเม็ดคอนกรีตส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้น

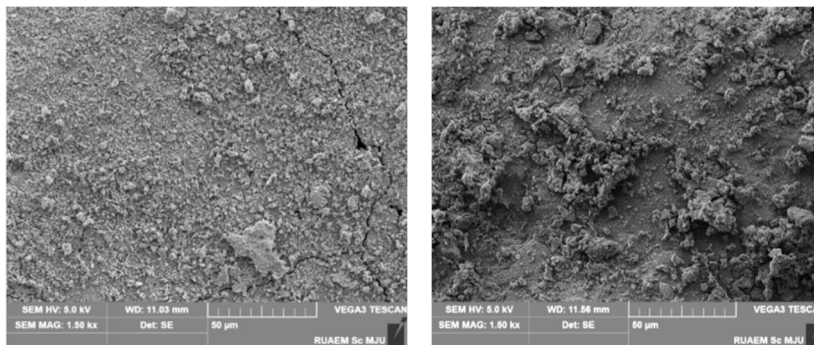


Figure 2 Concrete pellets before (left) and after (right) coating with ferric hydroxide.

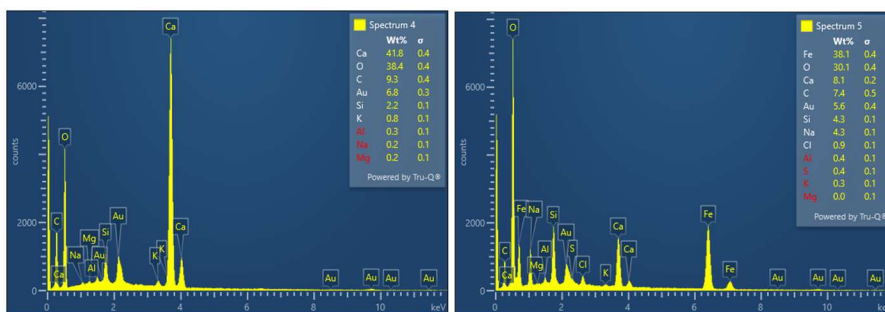


Figure 3 Elemental composition of concrete granules before (left) and after (right) coating with ferric hydroxide.

กรณีทดลองใช้โดอะตอมไมท์เป็นตัวกลางในการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้น เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยขยายภาพ 1,500 เท่า พบผลลัพธ์ดังภาพที่ 4 (Figure 4) ซึ่งแสดงให้เห็นโครงสร้างของโดอะตอมไมท์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนได้อย่างชัดเจน การที่โดอะตอมไมท์เป็นโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กทำให้ธาตุที่เป็นธาตุองค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุออกซิเจน ซึ่งมีสัดส่วนถึง 45.9% ซิลิกา (Si) 37.1% และมีธาตุเหล็กปะปนอยู่เพียง 1.6% และเมื่อนำโดอะตอมไมท์มาเคลือบด้วย เฟอริกไฮดรอกไซด์ พบว่าเฟอริกไฮดรอกไซด์จะแทรกตัวเกาะอยู่ตามผิวของโดอะตอมไมท์ ทำให้สัดส่วนของธาตุองค์ประกอบเปลี่ยนไป มีสัดส่วนของธาตุออกซิเจนลดลงเหลือ 26.4% มีธาตุคลอรีนซึ่งมาจากสารละลายที่ใช้ในกระบวนการเคลือบผิวโดอะตอมไมท์ 23.4% ธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นเป็น 13.0% และซิลิกา ลดลงเหลือ 12.2% ดังแสดงในภาพที่ 5 (Figure 5)

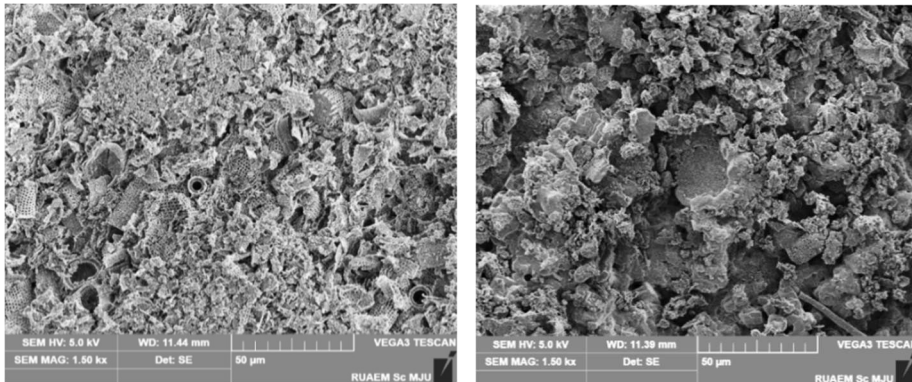


Figure 4 Diatomite before (left) and after (right) coating with ferric hydroxide.

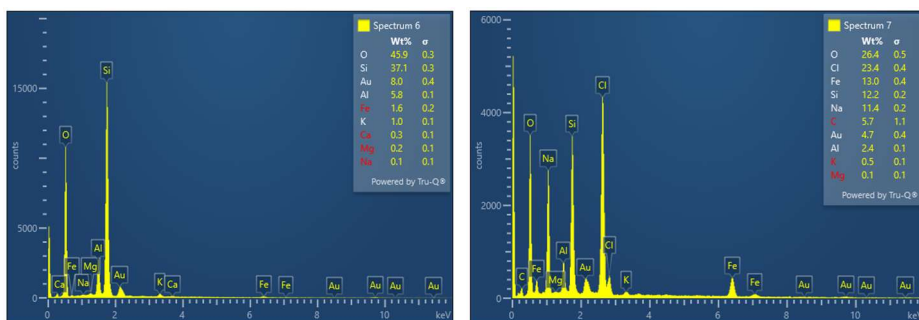


Figure 5 Elemental composition of diatomite before (left) and after (right) coating with ferric hydroxide.

การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุต่างๆของไม้สับ พบว่าส่วนใหญ่จะเป็นธาตุคาร์บอนเป็นหลัก รองลงมาเป็น ออกซิเจน 31.3% ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นธาตุที่เป็นส่วนประกอบของเซลลูโลสในเนื้อไม้ และเมื่อนำมาผ่านกระบวนการเตรียมและเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ พบว่าธาตุองค์ประกอบส่วนใหญ่ยังคงเป็นธาตุคาร์บอนและออกซิเจน ดังแสดงในภาพที่ 6 (Figure 6) หากแต่โครงสร้างของไม้สับจะเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในภาพที่ 7 (Figure 7)

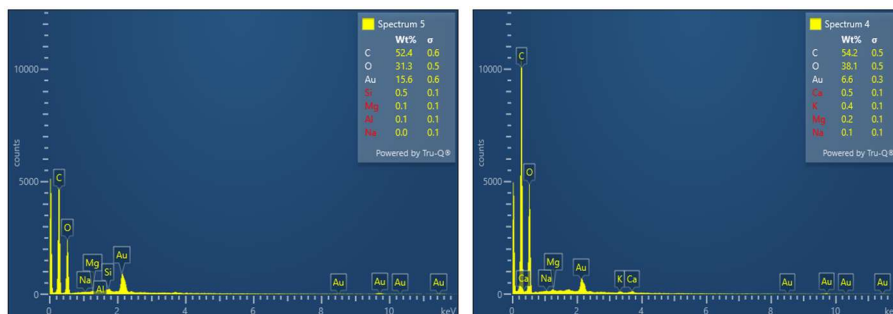


Figure 6 Elemental composition of wood chips before (left) and after (right) ferric hydroxide coating.

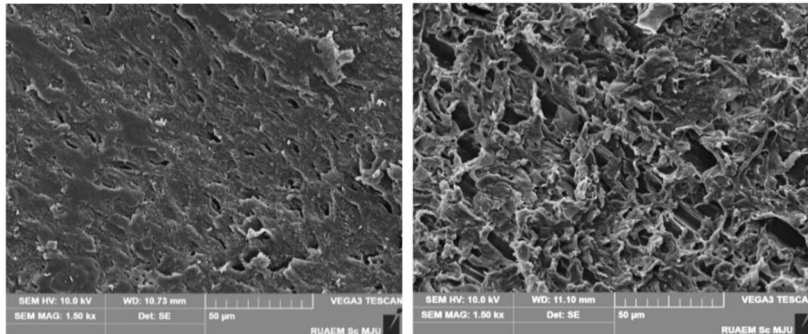


Figure 7 Surface of wood chips before (left) and after (right) ferric hydroxide coating.

2. การศึกษาการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยตัวกลางชนิดต่าง ๆ

การใช้เม็ดคอนกรีตเป็นวัสดุดูดซับ

เมื่อนำเม็ดคอนกรีตที่ไม่ได้ปรับสภาพทดลองกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 15-20 ลิตร/นาที่ (ระยะเวลาสัมผัส 12-15 วินาที) พบว่าสามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 1 ชั่วโมง โดยสามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 2,383 ppm ให้ลดลงได้ต่ำสุดประมาณ 640 ppm ที่ 5 นาทีแรกหลังจากนั้นความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาจนถึง 1,125 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดของเม็ดคอนกรีตลดลงตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการดูดซับในช่วง 1 ชั่วโมงแรกมีค่าเฉลี่ย 62.7% ดังภาพที่ 8 (Figure 8)

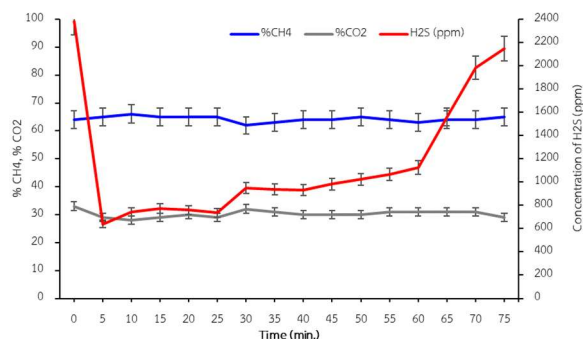


Figure 8 Removal of hydrogen sulfide from biogas by a fixed bed column using concrete pellets as adsorbents.

เมื่อเม็ดคอนกรีตถูกนำมาเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ก่อนจะนำมาทดลองที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 15-20 ลิตร/นาที่ พบว่าก๊าซชีวภาพก่อนเข้าระบบดูดซับมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นส่วนประกอบเฉลี่ย 2,551 ppm เมื่อปล่อยให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านระบบดูดซับอย่างต่อเนื่อง พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในช่วง 5 นาทีแรกจะลดลงอย่างรวดเร็วลงมายู่ที่ 85 ppm ก่อนจะเริ่มลดลงอย่างช้า ๆ และเริ่มคงที่ที่ประมาณ 14 ppm ดังภาพที่ 9 (Figure 9) แสดงให้เห็นว่าเม็ดคอนกรีตเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี และเมื่อทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก็พบว่ายังมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อยู่ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 96.67-99.45%

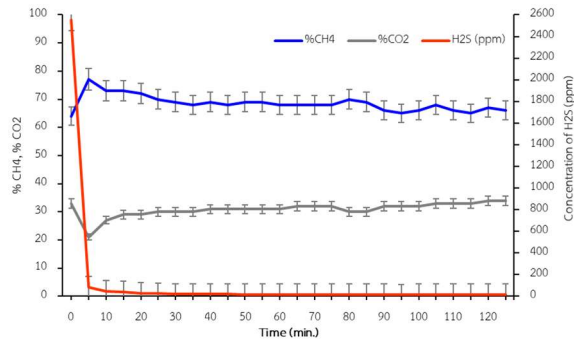


Figure 9 Removal of hydrogen sulfide from biogas by a fixed bed column using ferric hydroxide-coated concrete pellets as adsorbents.

การใช้ไดอะตอมไมท์เป็นวัสดุดูดซับ

เมื่อนำไดอะตอมไมท์มาใช้เป็นวัสดุดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ พบว่าสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่มีความเข้มข้นในก๊าซชีวภาพเริ่มต้น 1,655 ppm ให้มีความเข้มข้นลดลงได้อย่างช้าๆ จนถึงนาทีที่ 55 ซึ่งเป็นจุดที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงต่ำที่สุดที่ 206 ppm หลังจากนั้นความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะค่อยๆ สูงขึ้นจนเกือบเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าไดอะตอมไมท์ถึงจุดอิ่มตัวในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งจากภาพที่ 10 (Figure 10) จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพยังอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ

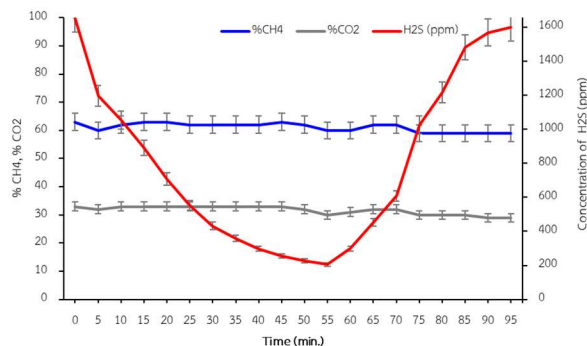


Figure 10 Removal of hydrogen sulfide from biogas by a fixed bed column using diatomite as adsorbents.

หลังจากนำไดอะตอมไมท์มาเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์และทำการทดลองดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 15-20 ลิตร/นาท โดยความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเริ่มต้นอยู่ที่ 2,659 ppm พบว่า ในช่วง 10 นาทีแรก ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจะลดลงอย่างรวดเร็วมาอยู่ที่ 74 ppm และเริ่มคงที่ที่ 33-37 ppm ดังภาพที่ 11 (Figure 11) ซึ่งตลอดการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไดอะตอมไมท์เคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ย 96.8-98.6%

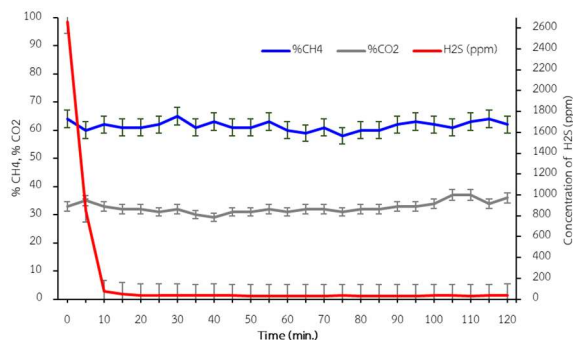


Figure 11 Removal of hydrogen sulfide from biogas by a fixed bed column using ferric hydroxide-coated diatomite as adsorbents.

การใช้ไม้สับเป็นวัสดุดูดซับ

ไม้สับที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นไม้สับเสียดซึ่งเป็นไม้ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เมื่อเตรียมตามวิธีการข้างต้นและนำมาทดสอบโดยทำการทดลองที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 15-20 ลิตร/นาท พบว่าในช่วง 20 นาทีแรก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเริ่มต้นที่ความเข้มข้น 1,857 ppm จะลดลงอย่างรวดเร็วจนเหลือความเข้มข้น 354 ppm และเริ่มคงที่ระหว่างนาที่ที่ 20-40 ที่ความเข้มข้น 328-357 ppm หลังจากนั้นความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะค่อย ๆ สูงขึ้นอย่างช้า ๆ ดังภาพที่ 12 (Figure 12) แสดงว่าไม้สับสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น

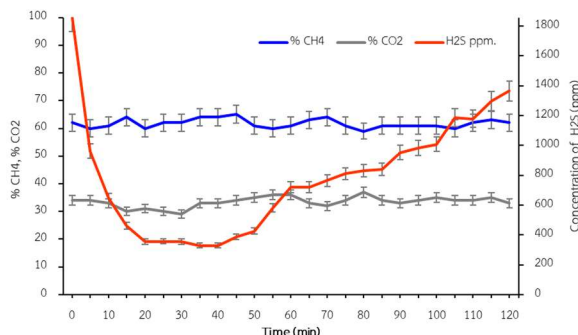


Figure 12 Hydrogen sulfide removal in biogas by fixed bed column using wood chips as adsorbent.

เมื่อนำไม้สับมาเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ แล้วทำการทดลองในสภาวะเดียวกัน โดยความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพก่อนผ่านระบบ 2,432 ppm เมื่อให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านชุดดูดซับด้วยอัตรา 15-20 ลิตร/นาที พบว่าในช่วง 10 นาทีแรก ไม้สับเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างรวดเร็ว จนความเข้มข้นเหลือ 71 ppm ก่อนจะเริ่มคงที่ที่ประมาณ 19-22 ppm ตั้งแต่นาทีที่ 40 เป็นต้นไปตลอดการทดลอง 2 ชั่วโมง ดังภาพที่ 13 (Figure 13) ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพของไม้สับเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ เฉลี่ยประมาณ 97.1-99.1%

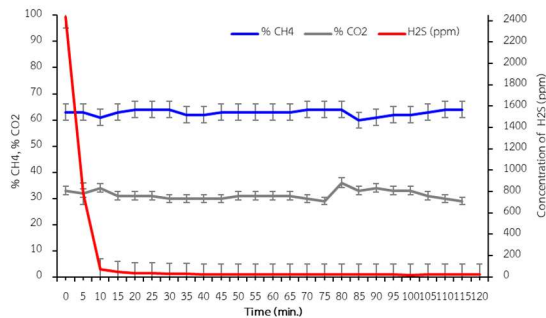


Figure 13 Removal of hydrogen sulfide in biogas by fixed bed column using ferric hydroxide-coated wood chips as adsorbent.

การใช้ฝอยเหล็กเป็นวัสดุดูดซับ

ฝอยเหล็กที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้จากโรงกลึงซึ่งรับจ้างกลึงงานเหล็กทั่วไป ฝอยเหล็กจะถูกบรรจุลงในคอลัมน์ด้วยความหนาแน่นประมาณ 0.6-0.7 กิโลกรัม/ลิตร ทำการทดลองที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ 15-20 ลิตร/นาที ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพก่อนการทดลองอยู่ที่ 2,305 ppm จากผลการทดลองภาพที่ 14 (Figure 14) จะเห็นว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจะลดลงอย่างรวดเร็วใน 25 นาทีแรก โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงถึงจุดต่ำสุดที่ 616 ppm ก่อนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเริ่มคงที่ที่ประมาณ 750-800 ppm ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของฝอยเหล็กในการทดลองครั้งนี้ เฉลี่ย 68.5%

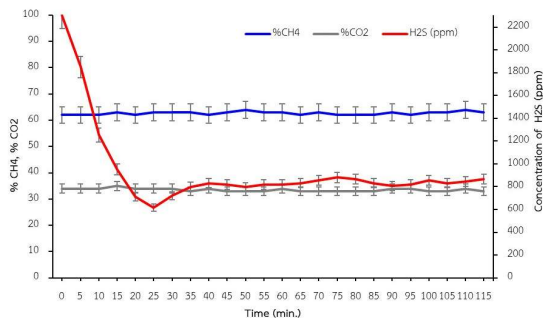


Figure 14 Removal of hydrogen sulfide in biogas by fixed bed column using steel wool as adsorbent

จากผลการทดลองของวัสดุแต่ละชนิดข้างต้น ในการทดสอบความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับ เปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 Comparison of hydrogen sulfide adsorption efficiency of adsorbents used in the experiments.

Adsorbents	Hydrogen sulfide concentration in biogas ($\pm$ S.D.)		Adsorption efficiency
	Before adsorption (ppm)	After adsorption (ppm)	
1. Concrete pellets	2,383 ($\pm$ 10.6) ^c	994 ($\pm$ 1.73) ^a	9.8%-73.2%*
2. Diatomite	1,655 ($\pm$ 15.0) ^f	759.3 ($\pm$ 14.0) ^c	5.3%-87.6%*
3. Wood chips	1,857 ($\pm$ 1.2) ^e	743.2 ($\pm$ 2.5) ^d	26.5%-80.9%*
4. Steel wool	2,305 ($\pm$ 1.0) ^d	812.3 ($\pm$ 5.9) ^b	68.50%**
5. Concrete pellets coated with Fe(C	2,551 ($\pm$ 9.0) ^b	14.0 ($\pm$ 0.0) ^f	99.18%**
6. Diatomite coated with Fe(OH) ₃	2,659 ($\pm$ 79.2) ^a	34.48 ($\pm$ 1.5) ^e	97.34%**
7. Wood chips coated with Fe(OH) ₃	2,432 ($\pm$ 0.6) ^c	21.43 ($\pm$ 0.6) ^f	97.60%**

Remark: *measured throughout the experiment. **average value on the constant adsorption range.

Similar superscript letters indicate no statistically significant difference ($p > 0.05$). Different superscript letters indicate significant difference within column ($p < 0.05$).

จากผลการทดลองวัสดุดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ โดยให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านวัสดุดูดซับที่อัตราการไหล 15-20 ลิตร/นาที่ (ระยะเวลาสัมผัส 12-15 วินาที) โดยทำการทดลองต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า วัสดุดูดซับที่ใช้ในการทดลองที่ถูกปรับปรุงคุณภาพโดยการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงกว่าวัสดุดูดซับที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการใด ๆ โดยเรียงตามลำดับดังนี้ เม็ดคอนกรีตเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 99.18% ไม้สับเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เฉลี่ย 97.60% และโคอะตอมไมท์เคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เฉลี่ย 97.34% ดังแสดงในภาพที่ 15 (Figure 15) ทั้งนี้ความเข้มข้นสุดท้ายของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่บำบัดด้วยการใช้เม็ดคอนกรีตเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับผ่านระบบดูดซับแบบตรึงในคอลัมน์ เท่ากับ 14 ppm อันเป็นไปตามข้อแนะนำของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งแนะนำคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพก่อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ ควรมีความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพน้อยกว่า 100 ppm (Industrial Safety Technology Promotion Division, 2023)

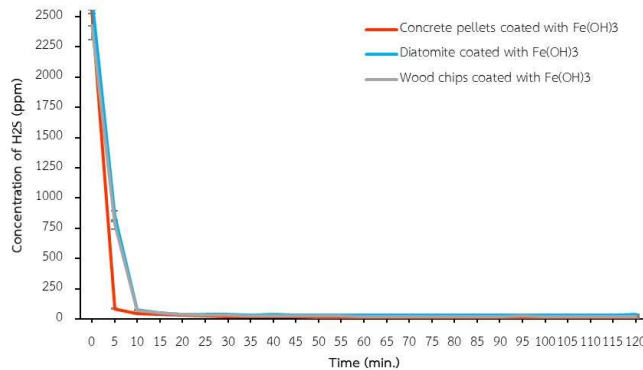


Figure 15 Efficiency of each adsorbent on hydrogen sulfide adsorption in biogas.

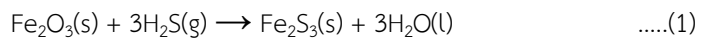
อภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับกับวัสดุดูดซับที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ผลการทดลองพบว่าการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยวัสดุดูดซับที่มีการปรับปรุงคุณภาพบรรจุในคอลัมน์จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากกว่าวัสดุดูดซับที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

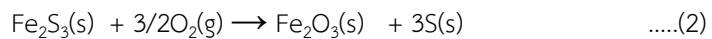
จากการศึกษาวัสดุดูดซับที่เป็นเม็ดคอนกรีตซึ่งไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติกับเม็ดคอนกรีตที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าคอนกรีตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีคุณสมบัติในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เช่นกัน ซึ่งจากผลการศึกษานี้พบว่าสามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 2,383 ppm ให้ลดลงได้ต่ำสุดเหลือประมาณ 640 ppm และคิดเป็นประสิทธิภาพ 73.14 % ซึ่งมีรายงานว่าเศษคอนกรีตหรือขยะคอนกรีต (cellular concrete waste) ก็สามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพได้ โดย Poser et al. (2023) พบว่า cellular concrete waste 1 กิโลกรัม สามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 169 กรัม ประสิทธิภาพดังกล่าวเกิดจากกลไกทางกายภาพ-เคมีที่ซับซ้อน โดยไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบต่าง ๆ ของคอนกรีตเซลล์ โดยเฉพาะแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($\text{CaSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นแคลเซียมซัลเฟต หรือยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และเกิดกัมมะถันขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบของ Anaïs et al. (2017) ที่ใช้ซีเมนต์และคอนกรีตในการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งพบว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกออกซิไดส์เป็นกัมมะถันธาตุและกลายเป็นผลึกยิปซัม

จากความสามารถของคอนกรีตในการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เมื่อนำคอนกรีตมาปรับปรุงคุณภาพโดยการเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ จึงทำให้คอนกรีตมีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากเดิมมาก ซึ่งจากการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปิดเผยให้เห็นว่าหลังการเคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์บนผิวของเม็ดคอนกรีตทำให้มีธาตุเหล็ก (Fe)

เกาะบนผิวคอนกรีตและทำให้ธาตุองค์ประกอบที่วิเคราะห์ได้สัดส่วนเปลี่ยนไปจากเดิม โดยพบว่าพื้นผิวเม็ดคอนกรีตมีธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น ซึ่งเหล็กเป็นตัวแปรสำคัญในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเหล็กจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ส่งผลให้เกิดเฟอร์ริก(III)ออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งสามารถใช้เป็นสารดูดซับในกระบวนการดูดซับเพื่อทำปฏิกิริยากับ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดเป็น เฟอร์ริก (III) ซัลไฟด์ ดังแสดงในสมการ (1) ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Riyadi et al., 2017)



โดย Fe_2S_3 ที่เกิดขึ้น สามารถฟื้นฟูสภาพของเฟอร์ริก(III)ซัลไฟด์ ให้กลับมาเป็นสารดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในรูปของเฟอร์ริก(III)ออกไซด์ ได้อีกครั้ง โดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ดังแสดงในสมการที่ 2

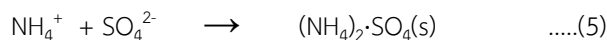


ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพของเม็ดคอนกรีตที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพกับเม็ดคอนกรีตที่เคลือบเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ จะเห็นว่าธาตุเหล็กที่เกาะที่ผิวเม็ดคอนกรีตส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้น (Rajagukguk & Satria, 2019; Polruang et al., 2017)

ขณะที่การใช้ฝอยเหล็กเป็นตัวดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้น พบว่ามีประสิทธิภาพประมาณ 68.5% โดยเฉลี่ย ซึ่งฝอยเหล็กสามารถเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น เฟอร์ริก (III) ซัลไฟด์ ดังเช่นการเกิดปฏิกิริยาในสมการ (1) เช่นกัน (Paoaiang et al., 2024) ทว่าการสัมผัสกับออกซิเจนและความชื้นจะทำให้ฝอยเหล็กเกิดการผุกร่อนและยุบตัวลงได้เมื่อใช้เป็นเวลานาน

กรณีทดลองใช้โดอะตอมไมท์เป็นตัวดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้น พบว่าโดอะตอมไมท์สามารถดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีในช่วง 50 นาทีแรก ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของโดอะตอมไมท์ที่มีเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก รูพรุนเหล่านี้เกิดจากช่องว่างระหว่างโดอะตอมไมท์แต่ละตัวและรูที่ผิวของโดอะตอมไมท์เอง (Felaous et al., 2023) ซึ่งวัสดุที่มีรูพรุนมักมีโครงสร้างทางเคมีที่หลากหลาย การมีรูพรุนจำนวนมากทำให้วัสดุนั้นมีพื้นที่ผิวสูง ซึ่งมีแนวโน้มดีมากสำหรับการดูดซับโมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Khabazipour & Anbia, 2019) อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยโดอะตอมไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและไม่ผ่านกระบวนการดังกล่าวยังคงพบว่ามีประสิทธิภาพน้อยกว่าการใช้เม็ดคอนกรีตในการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งนี้แม้ว่าโดอะตอมไมท์จะมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว แต่จุดอ่อนของโดอะตอมไมท์ก็คือรูพรุนของโดอะตอมไมท์ดีบักมีสิ่งเจือปนหลายประเภทอยู่ด้วย รูพรุนบางส่วนจะถูกปิดกั้น ทำให้คุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับลดลง (Jung et al., 2014). และด้วยเหตุนี้ทำให้การนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ลดลงเช่นกัน (França et al., 2003)

ผลการทดสอบการเดินระบบดูดซับแบบตรึงในคอลัมน์เพื่อกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ไม้สับปรกติและไม้สับที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่า ไม้สับที่มีการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์นั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีกว่าไม้สับธรรมดาที่ไม่มีการเคลือบด้วยเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากไม้สับเป็นเศษไม้ที่โครงสร้างเดิมนั้นประกอบด้วยท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหารกระจายอยู่ทั่วไป แต่ท่อจะอยู่ในสภาพค่อนข้างสลับแบนเนื่องจากเกิดการหดตัวเมื่อน้ำระเหยออกไป ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทำให้ทราบว่าเมื่อนำเศษไม้สับมาผ่านกระบวนการเตรียมโดยการเคลือบด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสารละลายดังกล่าวทำให้โครงสร้างทางกายภาพของไม้สับเปลี่ยนไป ผิวของเนื้อไม้ถูกสารละลายซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างกัดกร่อน ทำให้ผิวมีความเปื่อยยุ่ยมากขึ้น ขณะเดียวกันก็เปิดปากท่อลำเลียงให้กว้างขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้เศษไม้สับมีสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี อย่างไรก็ตามการดูดซับด้วยเศษไม้สับที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพมาก่อนจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ทั้งนี้มีรายงานว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ อาจถูกเปลี่ยนรูปเป็น $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เมตาบอไลซึมหลักของ *Thiobacillus thioparus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้สารประกอบกำมะถันอนินทรีย์ ให้เป็น $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 3-5 สารประกอบดังกล่าวจะก่อตัวขึ้นบนพื้นผิวของเศษไม้ และสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเศษไม้สับลดลง (Kim et al., 2002)



อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้นี้ยังจำกัดอยู่เพียงวัสดุในท้องถิ่นไม่กี่ชนิดและอยู่ในขั้นการศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นจึงควรศึกษาวัสดุอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อมูลให้เกษตรกรเลือกใช้ตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ อีกทั้งการศึกษาในครั้งนี้นี้ยังไม่ได้ศึกษาอายุการใช้งาน ข้อจำกัดและวิธีการฟื้นฟูที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งในอนาคตควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมและพัฒนาไปสู่การนำไปใช้งานจริงกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพจากการใช้งานจริงและประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับแต่ละชนิดในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพผ่านระบบดูดซับแบบตรึงในคอลัมน์พบว่าเม็ดคอนกรีตเคลือบเฟอริกไฮดรอกไซด์เป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพมากที่สุด ทั้งในเชิงความรวดเร็วในการดูดซับและประสิทธิภาพ โดยสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 2,551 ppm ได้เฉลี่ย 99.18%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

เอกสารอ้างอิง

- Anaïs G, Minerbe MG, Nour I, Dangla P, Chaussadent T. Impact of cement composition on the adsorption of hydrogen sulphide and its subsequent oxidation onto cementitious material surfaces. *Construction and Building Materials* 2017;152:576-586.
- Awe WO, Zhao Y, Nzihou A, Minh DP, Lyczko N. A review of Biogas utilization, purification and upgrading technologies. *Waste and Biomass Valorization* 2018;8(2):267-283.
- Choleva E, Mitsopoulos A, Dimitropoulou G, Romanos GE. Adsorption of hydrogen sulfide on activated carbon materials derived from the solid fibrous digestate. *Materials* 2023;16(14):1-23.
- Felaous K, Aziz A, Achab M. Physico-mechanical and durability properties of new eco-material based on blast furnace slag activated by Moroccan diatomite gel. *Environmental Science and Pollution Research* 2023;30:3549–3561.
- França SCA, Millqvist MT, Luz AB. Beneficiation of Brazilian diatomite for the filtration application industry. *Mining, Metallurgy & Exploration* 2003;20:42-46.
- Hosseini SE, Wahid MA. Development of biogas combustion in combined heat and power generation. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2014;40:868-875.
- Industrial Safety Technology Promotion Division. Operation manual on the design, production, quality control and use of biogas for industrial Plants. Bangkok: Department of Industrial Works, Ministry of Industry; 2023.
- Izhar TNT, Kee GZ, Saad FNM, Rahim SZA, Zakarya IA, Besom MRC, Ibad M, Syafiuddin A. Adsorption of Hydrogen Sulfide (H₂S) from Municipal Solid Waste by Using Biochars. *Biointerface Research in Applied Chemistry* 2022;12(6):8057-8069.
- Jung K, Jang D, Ahn K. A novel approach for improvement of purity and porosity in diatomite (diatomaceous earth) by applying an electric field. *International Journal of Mineral Processing* 2014;131:7-11.

- Khabazipour M, Anbia M. Removal of hydrogen sulfide from gas streams using porous materials: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2019; DOI:10.1021/acs.iecr.9b03800.
- Kim H, Kim YJ, Chung JS, Xie Q. Long-Term operation of a biofilter for simultaneous removal of H₂S and NH₃. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2002;52(12):1389-1398.
- Marchelli F, Cordoli E, Patuzzi F, Sisani E. Experimental study on H₂S adsorption on gasification char under different operative conditions. *Biomass and Bioenergy* 2019;126:106-116.
- Mingchai C. Hydrogen sulfide removal set in Biogas: Social enterprise for small scale farmer. *Area Based Development Research Journal* 2015;7(1):47-58.
- Paoaiang J, Pongyeela P, Chairerk N, Chungsiriporn J. H₂ S Removal from Biogas using Steel Wool (Fe₂O₃) Adsorption Combined with Water Absorption: Experimental and Modelling via RSM. *Chiang Mai Journal of Science* 2024;51(2):1-14.
- Polruang S, Banjerdki P, Sirivittayapakorn S. Use of Drinking water sludge as adsorbent for H₂S Gas Removal from Biogas. *EnvironmentAsia Journal* 2017;10(1):73-80.
- Poser M, Silva LRDE, Peu P, Couvert A, Dumont E. Cellular concrete waste: An efficient new way for H₂S removal. *Separation and Purification Technology* 2023;309:1-28.
- Promnuan K, Sittijunda S, Reungsang A. Evaluation of commercial moving bed media and sugarcane bagasse as packing material in biotrickling filter for hydrogen sulfide removal. *Bioresource Technology* 2023;388:1-33.
- Pudi A, Sarkhanlou MR, Signorini V, Andersson MP. Hydrogen sulfide capture and removal technologies: A comprehensive review of recent developments and emerging trends. *Separation and Purification Technology* 2022; 298: 1-51.
- Raabe T, Mehne M, Rasser H, Krause H, Kureti S. Study on iron-based adsorbents for alternating removal of H₂S and O₂ from natural gas and biogas. *Chemical Engineering Journal* 2019;371:738-749.
- Rajagukguk K, Satria AW. Design of biogas purification to reduce carbon dioxide (CO₂) and Hydrogen Sulfide (H₂S). *Jurnal Teknik Mesin* 2019;7:1-6.
- Regenspurg S, Iannotta J, Feldbusch E, Zimmermann FJ, Eichinger F. Hydrogen sulfide removal from geothermal fluids by Fe(III)-based additives. *Geotherm Energy* 2020;8(21):1-22.
- Riyadi U, Kristanto GA, Priadi CR. Utilization of steel wool as removal media of hydrogen sulfide in biogas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2017;105(1):1-6.
- Schiavon D, Cardoso FH, Frare LM, Gimenes M, Pereira N. Purification of biogas for energy use. *Chemical Engineering Transactions* 2014;37:643-648.
- Tangtaweewipat S, Songsee O, Cheva-Isaraku B. Diminishing of hydrogen sulfide from biogas for community use. *Khon Kaen Agriculture Journal* 2012;40(2):201-204.